

光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の集積化に向けた光フィルタの研究

著者	和田 理志
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	196-197
発行年	2017-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00121429

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の 集積化に向けた光フィルタの研究

和田 理志

指導教員：八坂 洋

A Study of Optical Filters for Integrated Optical Negative Feedback Narrow Linewidth Semiconductor Laser Source

Masashi WADA

Supervisor: Hiroshi YASAKA

This paper shows characteristics of a reflection-type ring resonator filter (RT-RRF) used as an optical frequency discriminator in an optical negative feedback system toward a compact and stable ultra-narrow linewidth semiconductor laser source. It is confirmed that the FM noise power spectral density (PSD) and spectral linewidth of a single-mode semiconductor laser are reduced by more than 20 dB by using the RT-RRF. To increase the stability of the laser system, we investigate another RT-RRF which generates orthogonally-polarized feedback lights. Dependence of power coupling coefficient between a waveguide and ring resonator gives us an optimum design of such a RT-RRF and it will be obtained by introducing a polarization rotation element into the RT-RRF.

1. はじめに

近年、ブロードバンド回線やスマートフォンなどの普及に伴いインターネットトラフィックは大幅に増加している。その対応策として新たな通信方式であるデジタルコヒーレント光通信が注目されている。この方式は従来の方式に比べ周波数利用効率の高い通信方式であるが、高コヒーレントなレーザ光源が要求される。従来の半導体レーザでは共振器のQ値を増加させ狭線幅化を達成するため光源系サイズが大きくなるという課題があった。そこで、我々は新原理に基づく光負帰還法を提案し、狭線幅スペクトルを有する集積型半導体レーザの実現に向けて研究を進めてきた。これまでに、原理検証を目的とした1 cm程の光負帰還レーザシステムにより、フリーラン時の線幅13.5 MHzを3 kHzまで狭窄化することに成功している。本研究では、光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の集積化に向けた光フィルタの設計を行った。また、機械的振動によって生じる帰還光の位相変動の影響を低減するため、直交偏波光負帰還に向けた光フィルタの設計を並行して進めた。

2. 光フィルタの設計

反射型リングフィルタにおける伝達関数の数値解析

を行うことで光フィルタの特性評価を行った。FMノイズパワースペクトル密度(PSD)の計算結果より、結合効率3%程度に設定することで20 dB以上のFMノイズPSDの低減が可能であり、発振スペクトル線幅の1/100以下への狭窄化が可能であるという結果を得た。

数値解析結果をもとに設計、作製した反射型リングフィルタを図1に示す。挿入光導波路は光の入出力部をテーパ構造とし、反射器を用いて光が帰還する構造とした。ダンブ用導波路は、リング部へ遷移した光波に光損失を与え、フィルタ特性を実現するためのエレメントである。本フィルタの反射スペクトル測定結果を図2に示す。周期的に反射率のディップを有する設計通りの反射型フィルタとして動作することを確認した。リングフィルタに由来する周期とは異なる周期を有する反射スペクトル構造は導波路端面の反射によるものである。次に、図2の反射スペクトルの傾きを評価した結果を図3に示す。端面反射により傾きにばらつきが生じているが、計算結果と同様の傾向を示すことが確認できた。また、導波路損失がダンブ用導波路の光損失と等価的に作用するため、ダンブ用導波路なしの反射型リングフィルタ構造を用いることで、20dB以上の線幅低減効果が期待できることを確認した。

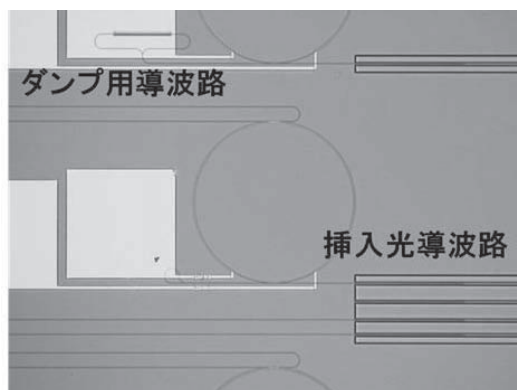


図 1. 試作したフィルタの写真

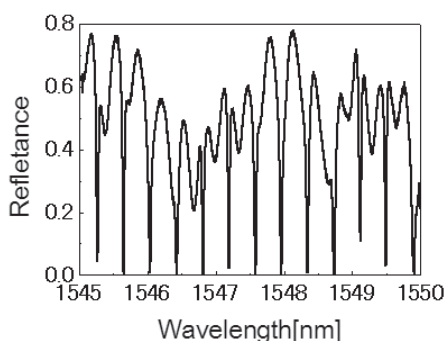


図 2. 反射型リングフィルタの反射スペクトルの測定結果

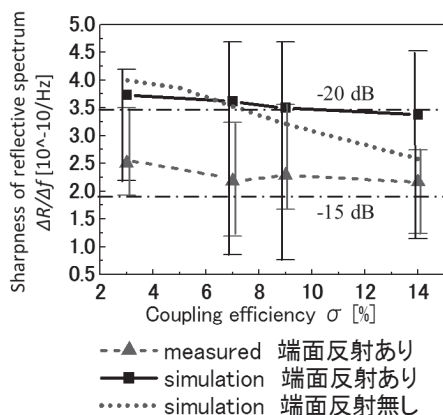


図 3. 反射型リングフィルタ (FSR50 GHz、ダンプ用導波路なし) の結合効率と反射スペクトルの傾き

3. 直交偏波光負帰還用光フィルタの設計

直交偏波光負帰還法実現のための光フィルタ構造と動作特性を考察した。ここでは TE 偏波入力光はリング部と結合せずに透過し、偏波回転器で TM 偏波に変換された反射光がリング部と結合することでフィルタ特性を実現する構造を提案した。TM 偏波光のみで動作する構造を実現するためには、図 4 の計算結果に示すように、TE 偏波光は結合せず TM 偏波光のみが結合する斜線部分の導波路間隔で設計する必要がある。FSR 63 GHz と 125 GHz の各構造において、結合効率をそれぞれ 5% と 10% にすることで 20 dB 以上の FM ノイズ PSD の低減が可能であり、発振スペクトル線幅の狭窄化が可能であることを数値解析で明らかにした。

また、上記設計を基に TM 偏波光でのみ動作する反射型リングフィルタを試作し、その反射スペクトル測定を行った。TM 偏波光のみでの動作、およびスペクトルの傾きがシミュレーションと同程度であることが確認でき、偏波回転子を実装することで直交偏波光負帰還用の光フィルタを実現できる可能性を示した。

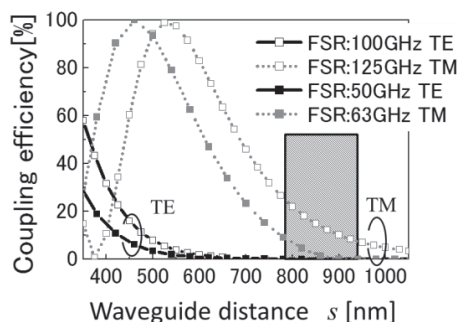


図 4. TE 偏波光と TM 偏波光の結合効率の計算結果

4. まとめ

光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の集積化に向けた光フィルタを設計・試作した。光負帰還用反射型リングフィルタを半導体レーザへ実装することで 20 dB 以上の線幅低減効果が期待できることを確認した。また、長期安定性の向上に向けた直交偏波光負帰還用の光フィルタの設計・試作を進めた。直交偏波光負帰還法実現のための光フィルタでは、結合効率の偏波依存性を明らかにすることで TM 偏波光のみで動作するリングフィルタ構造を設計し、素子の試作、特性評価を通して原理通りに動作することを明らかにするとともに、偏波回転子を実装することで直交偏波光負帰還法を実現できる可能性を示した。